

PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



EPO4/9760

REC'D 08 NOV 2004

WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 44 427.0
Anmeldetag: 25. September 2003
Anmelder/Inhaber: DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart/DE
Bezeichnung: Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine
IPC: F 02 D 41/38

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 07. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Remus".

Remus

DaimlerChrysler AG

Aifan

22.09.2003

5

Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine

- 10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine gemäß Anspruch 1.

Beispielsweise ist aus der DE 195 19 663 A1 ein Verfahren zum Betrieb eines Verbrennungsmotors mit Selbstzündung bekannt, bei welchem in einer ersten Stufe ein homogenes, nicht selbstzündendes vorverdichtetes Kraftstoff-Luft-Gemisch im Arbeitsraum bereitgestellt wird und in einer zweiten Stufe eine Zusatzmenge desselben Kraftstoffs in den Arbeitsraum eingespritzt wird, um die Selbstzündung herbeizuführen. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird dabei mittels äußerer Gemischbildung bereitet und in den Arbeitsraum eingebracht, um dort bis nahe an den Selbstzündungspunkt verdichtet zu werden. Die Einspritzung der Zusatzmenge Kraftstoff in der zweiten Stufe erfolgt fein zerstäubt unter Vermeidung von Wandberührungen unter Bildung einer Gemischwolke, in der einerseits das Kraftstoff-Luft-Verhältnis nicht größer als das stöchiometrische Mischungsverhältnis ist und in der andererseits die Selbstzündungsbedingung erreicht wird.

- 30 Weiterhin ist aus der DE 198 52 552 C2 ein Verfahren zum Betrieb eines im Viertakt arbeitenden Verbrennungsmotors bekannt, welches bei Teillast ein mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas und bei Vollast ein stöchiometrisches Gemisch bildet. Bei Teillast erfolgt eine Kompressionszündung, während bei Vollast eine Funkenzündung stattfindet. Weiterhin ist eine mechanisch gesteuerte Abgasrückhaltung mit schaltbarer Ventilunterschneidung und Abgas-

drosselung vorgesehen. In das zurückgehaltene Abgas kann eine Aktivierungseinspritzung vorgenommen werden. Die Menge des zurückgehaltenen Abgases ist bei eingeschalteter Ventilunterschneidung abhängig von der Motordrehzahl und -last durch eine für alle Brennräume wirksamen Abgasdrosselklappe gesteuert bzw. voreingestellt. Der Druck beim Öffnen der Einlassorgane in die einzelnen Brennräume wird durch eine zylinderselektive und zylinderkonsistente Aktivierungseinspritzung gleichgestellt.

Auch aus der DE 198 18 569 C2 ist ein Verfahren zum Betrieb einer im Viertakt arbeitenden Hubkolbenbrennkraftmaschine bekannt. Es ist durch ein homogenes, mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas sowie Kompressionszündung und direkte Einspritzung des Kraftstoffs in den Brennraum gekennzeichnet. Das Volumen des Brennraums verändert sich zyklisch. Der Brennraum ist durch mindestens ein Einlassorgan mit Frischgas befüllbar, während die Verbrennungsabgase durch mindestens ein Auslassorgan zumindest teilweise ausschiebar sind. Die Brennkraftmaschine wird im Teillastbereich und im unteren Vollastbereich mit Kompressionszündung und vorzugsweise mechanisch gesteuerter Abgasrückhaltung betrieben, während sie im Vollast- und hohen Teillastbereich ottomotorisch betrieben wird.

Nachteilig an den aus den oben genannten Druckschriften bekannten Verfahren ist insbesondere, dass bei der Kompressionszündung von homogenen Gemischen der Verbrennungsbeginn und die Wärmefreisetzung nicht kontrollierbar sind. Die Steuerung der Abgasmenge durch Abgasrückhaltung und Abgasrücksaugung sind aufwändig und schlecht realisierbar.

Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine bereitzustellen, bei welchem der Reaktionszustand des Gemisches gezielt beeinflussbar wird.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dabei dadurch aus, dass die Masse des einzuspritzenden Kraftstoffs auf eine Voreinspritzung und eine Haupteinspritzung aufgeteilt ist, wobei
5 die Voreinspritzung in den Zwischenkompressionshub und die Haupteinspritzung saugsynchron erfolgt. Eine derartige Aufteilung der eingespritzten Kraftstoffmassen ermöglicht eine gezielte Beeinflussung der Verbrennungslage, da durch diese Voreinspritzung in den Zwischenkompressionshub die Temperatur
10 und die Zusammensetzung des Arbeitsgases und damit der Reaktionszustand des Gemischs beeinflussbar sind.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird das Massenverhältnis der bei der Voreinspritzung eingespritzten Kraftstoffmasse und der bei der Haupteinspritzung eingespritzten Kraftstoffmasse je nach dem Betriebszustand der Brennkraftmaschine aufgeteilt. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung beträgt die Aufteilung der eingespritzten Kraftstoffmassen in Vor- und Haupteinspritzung etwa 50:50.
20

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung bleibt die Ventilunterschneidung zwischen den Einlass- und Auslassventilen während Lastwechseln konstant.

Es ist ferner von Vorteil, wenn der Einspritzzeitpunkt der Voreinspritzung von der Rotordrehzahl und dem Einspritzdruck abhängig ist.

Weitere Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus der
30 nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren. Es zeigen:

Fig. 1 eine Graphik zur Erläuterung der Aufteilung der Einspritzmenge auf Voreinspritzung und saugsynchrone Haupteinspritzung;
35

Fig. 2 eine Graphik der Verbrennungslage in Abhängigkeit der Einspritzmengenaufteilung und der Luftzahl;

5 Fig. 3 eine Graphik des Ladungswechselmitteldrucks in Abhängigkeit von der Einspritzmengenaufteilung und der Luftzahl; und

10 Fig. 4 den Druck-, Temperatur- und Heizverlauf im Zünd- und Gaswechsel-OT in Abhängigkeit von der Luftzahl.

Antrieb der Forschung und Entwicklung bei Brennkraftmaschinen ist die stetige Verbesserung des Verbrauchs bei gleichzeitiger Verringerung der Rohemission. Bei fremdgezündeten Brennkraftmaschinen bieten sich vor allem alternative Laststeuerverfahren an, um den Teillastwirkungsgrad zu erhöhen. Wichtigste Entwicklungsrichtungen sind der geschichtete Direkteinspritzer, der fremdgezündete Brennkraftmaschinen mit Hilfe von Qualitätsregelung den selbstzündenden Brennkraftmaschinen (Dieselmotor) näher rückt, und der variable Ventiltrieb kombiniert mit Restgasstrategien, welche die Ladungswechselverluste begrenzen sollen. Beide Verfahren versprechen theoretisch große Vorteile, scheitern aber im einen Fall an der teuren Abgasnachbehandlung des überstöchiometrischen Gemischs, im anderen Fall an der begrenzten Restgasverträglichkeit von fremdgezündeten Brennkraftmaschinen. Ideal stellt sich eine Verknüpfung beider Verfahren dar: eine qualitätsgeregelte Brennkraftmaschine mit hohen Restgasgehalten und Selbstzündung, die durch homogene Verbrennung bei überstöchiometrischem Betrieb kein oder kaum Stickoxid emittiert.

30 Eigenschaft homogener Brennverfahren ist der durch die Temperatur bzw. die Gemischzusammensetzung bestimmte Selbstzündungszeitpunkt. Realisiert man die notwendigen Ladungstemperaturen mit Hilfe von Abgasrückhaltung, genauer über die Parameter Abgastemperatur und -menge, ergibt sich eine Abhängigkeit der Verbrennungslage des Zyklus n vom Vorzyklus (n-1), im Extremfall wird die notwendige Selbstzündungs-

temperatur nicht erreicht. Die Verbrennungslage ihrerseits ist bestimmd für die Zielgrößen der Brennkraftmaschine und muss deshalb last- und drehzahlabhängig definierte Werte aufweisen.

- 5 Aufgabe der Erfindung ist es, Möglichkeiten zu finden, die bei Betriebspunktwechsel innerhalb des von der Raumzündverbrennung abgedeckten Teillastbereichs notwendigen Veränderungen in Abgasmenge bzw. -temperatur umzusetzen, ohne die Verbrennung negativ zu beeinflussen.

10

Abgasrückhaltung kann prinzipiell mit Hilfe geeigneter Steuerzeiten erreicht werden. Nötig ist zunächst ein frühes Schließen des Auslassventils, um die nötige Menge Restabgas im Brennraum der Brennkraftmaschine zu halten. Um ein Rückströmen des heißen Abgases in das Saugrohr und dadurch bedingte Abkühleffekte und Füllungsverluste zu vermeiden, wird gleichzeitig das Einlassventil später geöffnet. Bei konventionellen, fremdgezündeten Brennkraftmaschinen ist dieses Konzept jedoch nicht ohne weitere Maßnahmen anwendbar.

15

Gestaltet man diese Ventilunterschneidung ausreichend variabel, ergibt sich das erste Steuerungskonzept für diese Art der Bereitstellung der notwendigen Temperatur. Die Forderung nach einem unbeeinflussten Hochdruckteil und somit bestmöglicher Füllung setzt hierbei allerdings den Einsatz eines vollvariablen Ventiltriebs voraus, bei welchem Öffnungs- und Schließzeitpunkt unabhängig voneinander verstellbar sind.

20

Kehrt man zurück zur herkömmlichen Nockenwelle, bleibt die Einstellung einer definierten Abgasrückhalterate den schon im Serieneinsatz verbreiteten Nockenwellenstellern vorbehalten. Als unerwünschter Nebeneffekt verändert sich bei einer starren Nockenkontur mit dem Winkel, bei welchem das Ventil schließt, jeweils auch der Winkel, bei welchem das Ventil öffnet, was zu Ladungs- und Wirkungsgradverlusten und nicht zuletzt zu einem eingeschränkten Betriebsbereich in Last und Drehzahl führt.

Neben der Steuerung der Temperatur bei Kompressionsende mit Hilfe der Abgasrückhalterate bzw. -menge ergibt sich durch den Einsatz der Direkteinspritzung und den Betrieb der Brennkraftmaschine mit Luftüberschuss auch eine Einflussnahme auf die

5 Arbeitsgastemperatur und/oder die Gemischzusammensetzung des Kraftstoffs. Die Wirkungsweise der Direkteinspritzung lässt sich dabei in zwei Mechanismen untergliedern: zum einen in einen thermischen Effekt, der eine Erhöhung der Abgastemperatur in Folge der Umsetzung des voreingespritzten Kraftstoffs vor-

10 sieht, zum anderen eine auftretende Vorkonditionierung des Kraftstoffs, die dessen Reaktivität erhöht und somit Einfluss auf den integralen Zündverzug nimmt.

Mit der eingeschränkten Variabilität und Dynamik des

15 mechanischen Ventiltriebs mit fester Nockenkontur wird der Einspritzzeitpunkt bzw. die Aufteilung der Einspritzmenge auf verschiedene Einspritzzeitpunkte zum wichtigsten Parameter zur Steuerung der Verbrennungslage. In Fig. 1 ist die Aufteilung der Einspritzmenge auf eine Voreinspritzung und eine saug-synchrone Haupteinspritzung beispielhaft dargestellt.

20

Die Ventilunterschneidung macht dabei eine Einspritzung vor dem Gaswechsel-OT möglich. Die Einbringung der Hauptkraftstoffmenge erfolgt weiterhin saugsynchron.

Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit der Verbrennungslage von der genannten Einspritzaufteilung. Der Versuch wurde an einem Referenzpunkt (2.000 U/min, ca. 3 bar p_{mi}) bei verschiedenen, über jede Variation konstant gehaltenen Ventilunterschneidungen durchgeführt. Gestrichelte Linien bezeichnen dabei konstante Auslasssteuerzeiten. Verfolgt man eine dieser Linien, ergibt sich im Bestfall eine Verschiebung der Verbrennungslage um über 10° Kurbelwinkel nur durch eine Veränderung der Aufteilung. Außerdem fällt auf, dass bei konstanter Ein- und Auslassphasenlage höhere Luftzahlen bei geringerer voreingespritzter Kraftstoffmenge erreicht werden.

30

35

Die Veränderungen des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses folgen aus einer Veränderung der angesaugten Frischluftmasse, da die Gesamteinspritzmenge konstant gehalten wird. Die Verschiebung der Verbrennungslage hängt also eng mit den Vorgängen in der Ladungswechselschleife zusammen. Der Blick auf den Ladungswechselmitteldruck gemäß Fig. 3, gemessen von UT zu UT, zeigt, dass man bei etwa gleichmäßiger Aufteilung der Einspritzmenge auf Vor- und Haupteinspritzung und hohen Luftzahlen positive Werte für die Ladungswechselarbeit erhält, obwohl deren Vorzeichen durch Ansaug-, Ausschiebe- und Wandwärmeverluste eigentlich negativ sein müßte. Die Einspritzung des Kraftstoffs in das heiße Abgas, welches im Gaswechsel-OT ein zur Selbstzündung ausreichend hohes Temperaturniveau besitzt und durch den überstöchiometrischen Betrieb zudem mit Restsauerstoff ausgestattet ist, lässt eine Umsetzung vermuten.

Aussagen zu den Mechanismen dieser Umsetzung sind aus Fig. 4 ersichtlich. Ausgehend vom Punkt mit maximaler Ladungswechselarbeit aus dem oben gezeigten Kennfeld bei einer Aufteilung vom 50:50 und $\lambda \approx 1,4$ wurde die Luftzahl λ über Aufladung erhöht.

Zunächst ist auch im unaufgeladenen Zustand die Umsetzung im unsymmetrischen Druck- und Temperaturverlauf zu erkennen. Beide Maxima liegen nach dem oberen Totpunkt. Bildet man ein Heizgesetz im GOT mit Masseberechnungen nach thermodynamischen Grundgleichungen, zeigt sich eine Wärmefreisetzung. Erhöht man nun schrittweise den Ladegrad und damit den Restluftgehalt im Abgas, erhöht sich der Umsetzungsgrad im Ladungswechsel-OT trotz ansonsten konstanter Randbedingungen, was auf Sauerstoffmangel schließen lässt. Trotz des so erzeugten Luftüberschusses kann nicht die gesamte voreingespritzte Kraftstoffmasse umgesetzt werden. Die Voreinspritzung erfolgt etwa 60° KW vor dem Gaswechsel-OT, d.h. es ist hier von Gemischbildungssproblemen und sogar Rußbildung auszugehen. Dieser Ruß wird jedoch in der Hauptumsetzung wieder aufoxidiert. Eine Verbesserung des Umsetzungsgrades in der Zwischenkompression führt zu einer Erhöhung der Temperatur und des Drucks des zurückgehaltenen

Abgases. Über die Druckerhöhung auch bei Öffnen des Einlassventils erklärt sich auch die Abnahme der Luftzahl bei großen Voreinspritzmengen im oben gezeigten Fall. Dieses nun erlangte höhere Temperaturniveau führt zu einer Frühverschiebung der Verbrennung. Da nun aber ein je nach Ladegrad immer größer werdender Teil des Kraftstoffs im GOT schon verbrannt wird, fällt die Hauptumsetzung immer geringer aus. Die Abgas-temperatur sinkt damit und beeinflusst wiederum die Umsetzung in der Zwischenkompression.

DaimlerChrysler AG

Aifan

22.09.2003

5

Patentansprüche

- 10 1. Verfahren zum Betrieb einer im Viertakt arbeitenden Brennkraftmaschine mit folgenden Merkmalen:
- in mindestens einen Brennraum der Brennkraftmaschine, dessen Volumen sich zyklisch ändert, wird Kraftstoff direkt eingespritzt,
 - Frischgas wird durch mindestens ein Einlassventil zugeführt und Verbrennungsabgas wird durch mindestens ein Auslassventil abgeführt,
 - bei Teillast wird ein mageres Grundgemisch aus Luft, Kraftstoff und zurückgehaltenem Abgas und bei Volllast ein stöchiometrisches Gemisch gebildet,
 - bei Teillast erfolgt eine Kompressionszündung und bei Volllast eine Funkenzündung,
 - die Kraftstoffmenge wird in Form von einer Voreinspritzung und einer Haupteinspritzung bereitgestellt, dadurch gekennzeichnet, dass der in der Voreinspritzung bereitgestellte Kraftstoff in den Zwischenkompressionshub der Brennkraftmaschine eingespritzt wird, während die Haupteinspritzung saugsynchron erfolgt.
- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Massenverhältnis der bei der Voreinspritzung eingespritzten Kraftstoffmasse und der bei der Haupteinspritzung eingespritzten Kraftstoffmasse je nach dem Betriebszustand der Brennkraftmaschine aufgeteilt wird.
- 35

3. Verfahren nach Anspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass eine Ventilunterschneidung zwischen den Einlass- und
den Auslassventilen während des Lastwechsels unveränderlich
ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Aufteilung der eingespritzten Kraftstoffmassen in
Vor- und Haupeinspritzung etwa 50:50 beträgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Einspritzzeitpunkt der Voreinspritzung von der
Motordrehzahl und dem Einspritzdruck abhängig ist.

P803218/DE/1

111

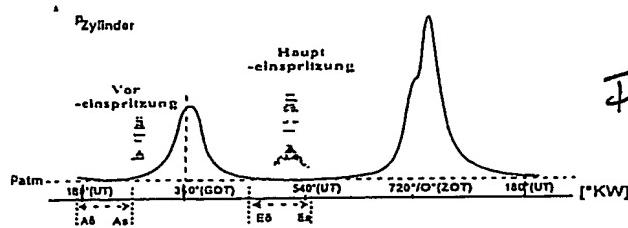


Fig. 1

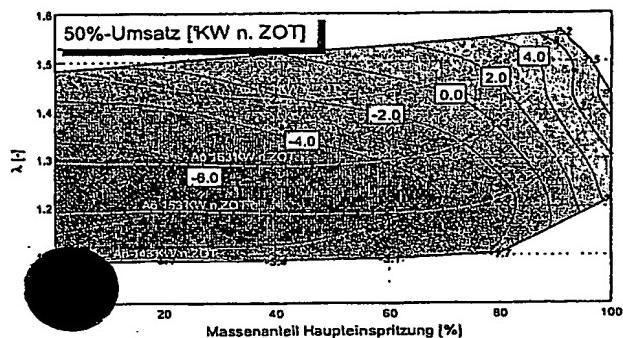


Fig. 2

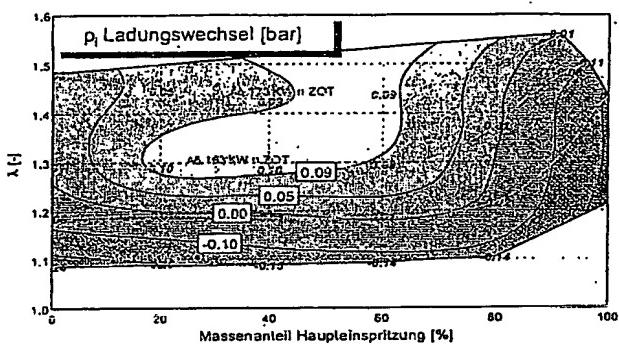
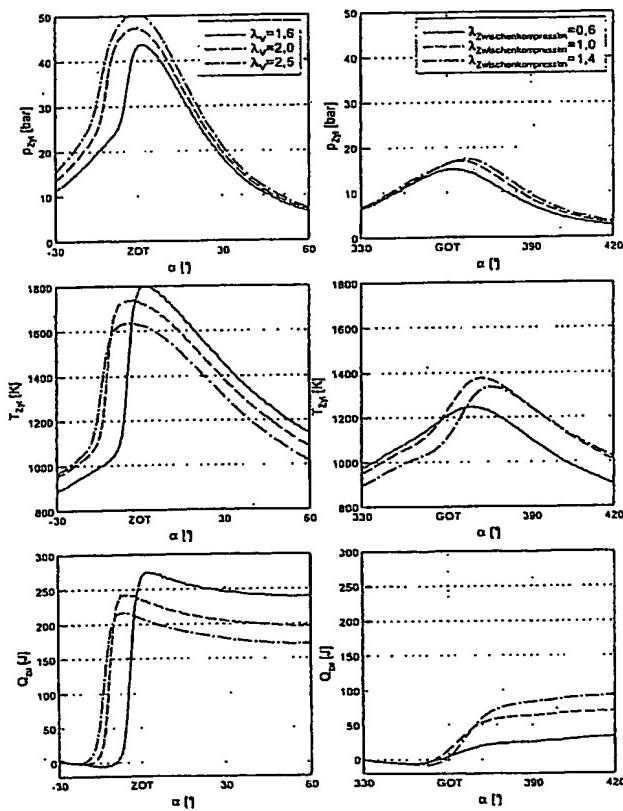


Fig. 3

Fig. 4



DaimlerChrysler AG

Aifan

22.09.2003

5

Zusammenfassung

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine.

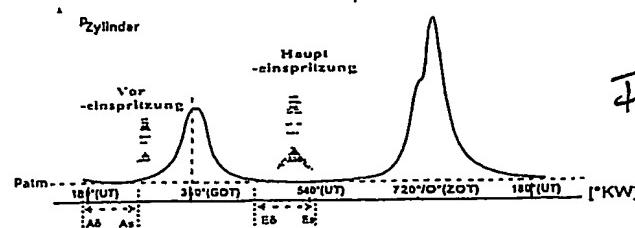
10 2.1. Es wird ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine vorgeschlagen, bei welchem die Einspritzung von Kraftstoff in einer Voreinspritzung und einer Haupteinspritzung vorgesehen ist.

15 2.2. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Voreinspritzung in den Zwischenkompressionshub der Brennkraftmaschine erfolgt, während die Haupteinspritzung saugsynchron erfolgt.

20 2.3. Anwendung für Brennkraftmaschinen, insbesondere für Personen- und Lastkraftfahrzeuge.

3. Figur 1.

P803218/DE/1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.